



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE VÝROBY ROTAČNÍ SOUČÁSTI

OPTIMIZING OF ROTATING COMPONENTS PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Kubíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Fiala, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jiří Kubiček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk Fiala, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Optimalizace výroby rotační součástí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student se bude zabývat vytvořením vhodného technologického postupu výroby rotační součásti a návrhem několika způsobů výroby dané součásti. Dále provede volbou nejvhodnějšího způsobu výroby s ohledem na ekonomickou stránku, která zahrnuje přípravný, kusový čas a životnost nástrojů.

Cíle bakalářské práce:

1. Zhodnocení stávajícího postupu výroby.
2. Vytvoření nového technologického postupu výroby.
3. Porovnání různých variant výroby.
4. Volba vhodného strojního vybavení a dodavatele nástrojů.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.

PÍŠKA, M. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je rozbor a následná optimalizace výrobního postupu součásti „Pouzdro“, které je soustruženo na CNC soustruhu Hardinge Talent 8/52 a následně frézováno Kovosvit MAS MCV 750. Cílem práce je návrh způsobu výroby, při kterém bude použit pouze stroj Doosan Puma 2100SY, volba vhodných nástrojů a následné porovnání těchto způsobů výroby s ohledem především na přípravný a strojní čas výroby, životnost nástrojů a ekonomiku výroby.

Klíčová slova

optimalizace, technologický postup, soustružení, frézování

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is the analysis and following optimization of technological process of manufacturing the component „Pouzdro“ which is turned on CNC lathe Hardinge Talent 8/52 and milled on Kovosvit MAS MCV 750. The goal of this bachelor thesis is design of production method when will used only CNC lathe DOOSAN PUMA 2100SY, choice of the tools and comparsion of this two methods of the technological processes with regard to production time, lifetime of the tools and economy of production.

Keywords

optimization, technological procedure, turning, milling

Bibliografická citace

KUBÍČEK, Jiří. *Optimalizace výroby rotační součástí*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117444>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Fiala.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 18.4.2019

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Zděnkovi Fialovi Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce.

Děkuji rodině za poskytnutí podpory a vytvoření vhodných podmínek po celou dobu mého dosavadního studia, dále děkuji panu Petru Peroutkovi za ochotu spolupracovat, pomoc a rady týkající se obsluhy a seřízení obráběcích strojů.

OBSAH

ABSTRAKT	3
ÚVOD	9
1 METODY TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ	10
1.1 Kinematika soustružení	10
1.2 Kinematika frézování	12
2 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO POSTUPU VÝROBY	13
2.1 Obrobek	13
2.2 Soustružení	14
2.2.1 CNC soustruh Hardinge Talent 8/52	14
2.3 Frézování	15
2.3.1 Vertikální obráběcí centrum MAS MCV 750	15
2.4 Výrobní postup	17
2.5 Zhodnocení stávajícího postupu	18
3 NÁVRH NOVÝCH POSTUPŮ VÝROBY	19
3.1 Úprava stávajícího postupu výroby	19
3.2 Volba jiného stroje	19
3.2.1 CNC soustruh Doosan PUMA 2100SY	20
3.3 Výrobní postup pro stroj PUMA 2100SY	22
3.3.1 První varianta postupu výroby součásti	22
3.3.2 Druhá varianta postupu výroby součásti	22
3.4 Nový výrobní postup	24
4 VOLBA NÁSTROJŮ	25
4.1 Použité držáky VBD	25
4.2 Použité výměnné břitové destičky	25
4.2.1 Parametry břitových destiček ISCAR	26
4.2.2 Parametry břitových destiček WNT	27
4.3 Volba dodavatele břitových destiček	28
5 ZHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ VÝROBNÍCH POSTUPŮ	30
5.1 Určení času jednotlivých operací výroby	30
5.1.1 Časy operací původního výrobního postupu	30
5.1.2 Čas po změně výrobního postupu	30
5.2 Určení přípravných časů	31
5.3 Vyhodnocení změny výrobního postupu	32
5.3.1 Celkový strojní čas různých variant výroby	32
5.3.2 Celkový přípravný čas různých variant výroby	33
5.3.3 Čas potřebný pro vedlejší práce	34

5.4 Zhodnocení úspory výrobních nákladů a časové úspory po změně technologického postupu	35
5.4.1 Náklady na hodinu práce a přípravu stroje	35
5.4.2 Úspora výrobního času po změně technologického postupu	39
ZÁVĚR	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	42
SEZNAM PŘÍLOH	43

ÚVOD

Vzhledem k neustále se rozvíjejícím možnostem obráběcích strojů, kdy se navyšuje počet pracovních os strojů, nástrojům, které dovolují obrábět při vyšších řezných podmínkách je nutné přizpůsobovat staré zaběhlé výrobní postupy těmto progresivním strojům, které dokáží zefektivnit výrobu.

Pro pořízení těchto strojů je potřeba vynaložit nemalé finanční náklady, tyto náklady se ovšem vrátí v podobě efektivnější výroby, snížení výrobních časů nebo zredukování počtu potřebných strojů pro výrobu součástí. Jako příklad lze uvést soustruh DOOSAN PUMA 2100 SY, který je zahrnut do této bakalářské práce, tento stroj dokáže provádět jednodušší frézovací operace a tím může dojít k úspoře jednoho pracoviště při výrobě součástí, na které je potřeba frézovat snadnější tvary.

Obsahem této bakalářské práce je rozbor a zhodnocení technologického postupu výroby součásti „Pouzdro“, návrh technologického postupu pro stroj DOOSAN PUMA 2100 SY a výběr nástrojového vybavení. Poté proběhne zhodnocení úspory výrobních nákladů a uspořené výrobního času.

1 METODY TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

Součást, jejíž výrobou se tato bakalářská práce zabývá je vyráběná třískovým obráběním. V tomto případě kombinací technologií soustružení a frézování. Doposud se součást vyrábí na dvou obráběcích strojích a to na horizontálním soustruhu Hardinge Talent 8/52 a vertikálním obráběcím centru KOVOSVIT MAS MCV 750, avšak tento výrobní postup není příliš efektivní. Pro zvýšení efektivity výroby a redukci strojního času, byla výroby přesunuta na horizontální soustruh Doosan PUMA 2100SY, jenž je vybaven proti vřetenem a naháněnými nástroji.

1.1 Kinematika soustružení

Soustružení je třískové obrábění rotačních vnitřních nebo vnějších ploch. Hlavní řezný pohyb je rotační a koná jej obrobek. Vedlejší pohyb je přímočarý a vykonává jej nástroj. Soustružením lze vyrábět vnitřní a vnější válcové plochy, kuželové plochy, řezat závit, upichovat materiál, vrtat.

Kinematika soustružení je definována těmito vztahy [1]:

- Obvodová rychlost obrobku je řeznou rychlostí a je definována vztahem:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

- Základní jednotkou řezné rychlosti v_c pro soustružení je [m/min], průměr obrobku je D je v [mm] a otáčky n jsou v [min^{-1}].
- Posuvová rychlost obrobku v [m/min] je definována posuvem na otáčku f a počtem otáček n :

$$v = \frac{f \cdot n}{1000} \quad (1.2)$$

- Výsledný pohyb je dán vektorovým součtem řezného a posuvového pohybu:

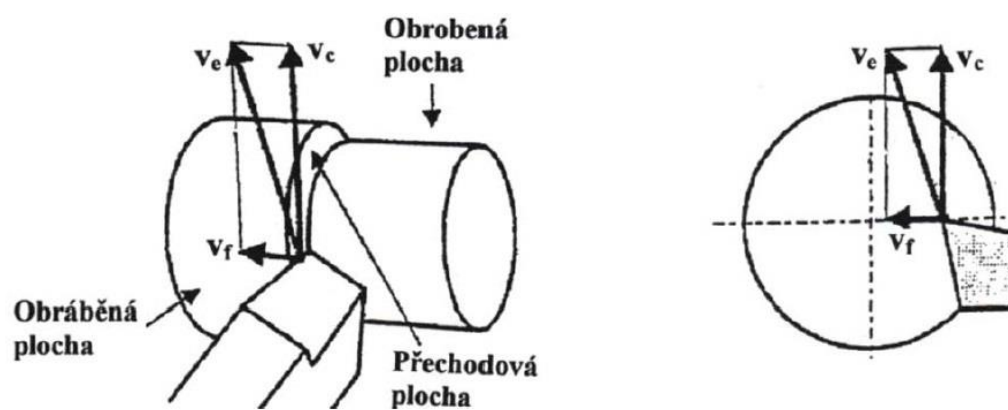
$$v_e = v_c + v_f \quad (1.3)$$

- Odřezávaná vrstva materiálu představuje objem materiálu, jenž musí být odebrán nástrojem. Rozměr této odřezávané vrstvy je dán šířkou záběru a_p a šířkou záběru b_D . Průřez této vrstvy je označován jako A_D . Dále je důležitá velikost plochy roviny smykové. Ta se určí jako průmět plochy řezu do roviny maximálních smykových napětí dle vztahu:

$$A_{Sh} = \frac{h_D \cdot b_D}{\sin \phi} \quad (1.4)$$

- Pokud se uvažuje poloměr špičky nástroje, je střední hodnota tloušťky třísky:

$$A_{Sh} = \frac{A_s}{l_s} = \frac{a_p \cdot f}{l_s} \quad (1.5)$$



Obr. 1.1 Podélné soustružení a čelní soustružení [2].

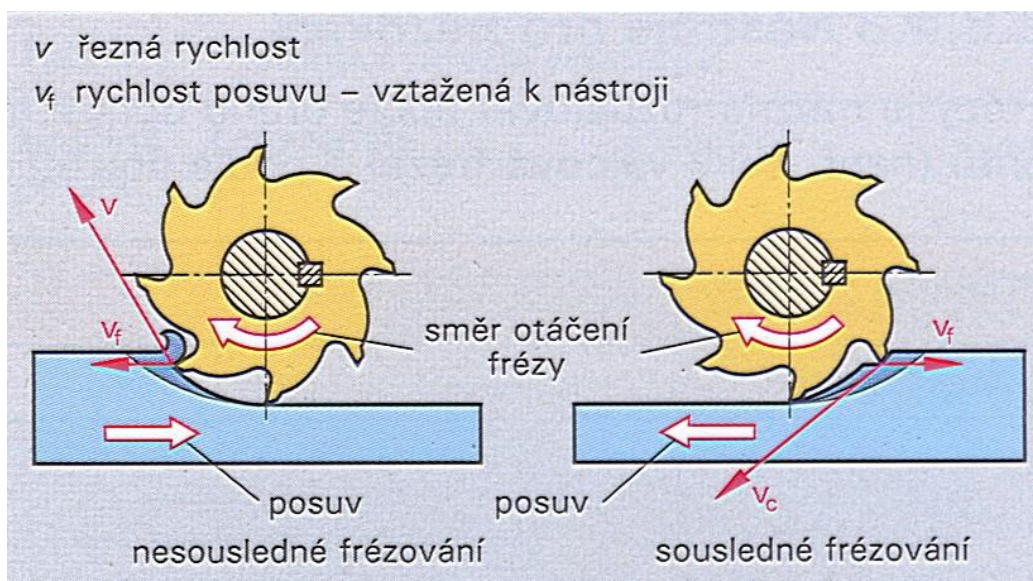
1.2 Kinematika frézování

Frézování je metoda, při které dochází k odebírání obráběného materiálu pomocí břitů obráběcího nástroje, který koná rotační pohyb.

Frézování lze rozdělit na sousledné a nesousledné (obr. 1.3).

Při sousledném frézování dochází k rotačnímu pohybu nástroje a posuvu obrobku ve stejném směru. Tento způsob frézování je náročný na upínání jelikož dochází k úběru třísky od maximálního průřezu po nulový průřez.

Nesousledné frézování je méně náročný na upínání, protože se průřez odebírané třísky mění od nulového po maximální průřez.



Obr. 1.2 Sousledné a nesousledné frézování [3].

Kinematika frézování je daná těmito vztahy [1]:

- Hlavní řezný pohyb při frézování koná nástroj a ten je definován řeznou rychlostí, která je definovaná tímto vztahem:

$$v_c = \frac{\pi_z \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.6)$$

- Vedlejší pohyb koná obrobek, závisí na druhu frézy, hodnotě posuvu na zub a počtu zubů frézy. Vedlejší pohyb je definován vztahem:

$$v_f = \frac{f_z \cdot z \cdot n}{1000} \quad (1.7)$$

- Vektorový součet řezné rychlosti a vedlejšího pohybu pak udává efektivní výsledný pohyb ve skalárním vyjádření:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (1.8)$$

2 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO POSTUPU VÝROBY

Současný postup výroby součásti se provádí na třech strojích. Tento postup zahrnuje dělení materiálu na pásové pile a následné soustružení součásti na horizontálním CNC soustruhu, po soustružení se výrobek přesune na vertikální obráběcí, které je vybaveno otočným stolem a umožňuje tedy výrobu šestihranu. Objem série výroby činí 500 - 1000 kusů.

2.1 Obrobek

Součást, jejíž výrobou se tato práce zabývá je pouzdro, které se používá v radiokomunikační technice k ochraně kabelů, u kterých by mohlo dojít k poškození kabelu při ohybu, tyto kabely bývají připojeny například k anténám popřípadě vysílačům.

Pouzdro je vyrobeno z materiálu EN AW 2030. Jedná se o slitinu hliníku pro všeobecné účely.

Tento materiál obsahuje olovo, to zajišťuje lepší drobivost třísky, tedy bezproblémovější obrábění.

Kvůli nízké korozní odolnosti materiálu se po obrobení se pouzdro opatřuje ochranným lakem.

Tento materiál se vyznačuje vlastnostmi uvedenými v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Vlastnosti materiálu EN AW 2030 [6].

EN AW 2030	
Hutní značení	AlCu4PbMg
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	250
Mez pevnosti R_m [MPa]	370
Korozní odolnost	Nízká
Svařitelnost	Ne
Obrobitelnost	Dobrá



Obr. 2.1 Pouzdro.



Obr. 2.2 Pouzdro.

2.2 Soustružení

Soustružení součásti probíhá na CNC soustruhu Hardinge Talent 8/52 (obr. 2.3) s řídicím systémem FANUC.

Polotovar ve formě přířezu s tyče o průměru 40 mm se upne do tvrdých čelistí, poté následuje obrobení součásti z jedné strany. Z důvodu nutnosti před obráběním druhé strany výrobku vyměnit tvrdé čelisti za měkké, které jsou vysoustružené na hotový rozměr první strany součásti nelze součást vyrábět na "otočku", tudíž se musí z první strany obrobít celá série, poté obsluha musí částečně obroběný výrobek vyjmout ze stroje a bezpečně uložit, aby nedošlo k poškození.

Dále následuje výměna tvrdých čelisti za měkké, při zanechání tvrdých čelistí by hrozilo nebezpečí poškození již zhotovených rozměrů výrobku a tím jeho znehodnocení.

Následně se výrobek obrobí z druhé strany.

2.2.1 CNC soustruh Hardinge Talent 8/52

Jedná se o horizontální CNC soustruh.



Obr. 2.3 Horizontální CNC soustruh Hardinbge Talent 8/52.

Tab. 2.2 Technické údaje stroje

Hardinge Talent 8/52	
Počet řízených os	2
Maximální otáčky vřetene	5000 min ⁻¹
Maximální průměr obrobku	284 mm
Velikost zásobníku	12
Výkon motoru vřetena	25 kW/30 min
Hmotnost stroje	3000 kg

2.3 Frézování

Frézování osoustruženého výrobku probíhá na vertikálním obráběcím centru MAS MCV 750 s řídicím systémem Heidenhain iTNC530 HSCI (obr. 2.4).

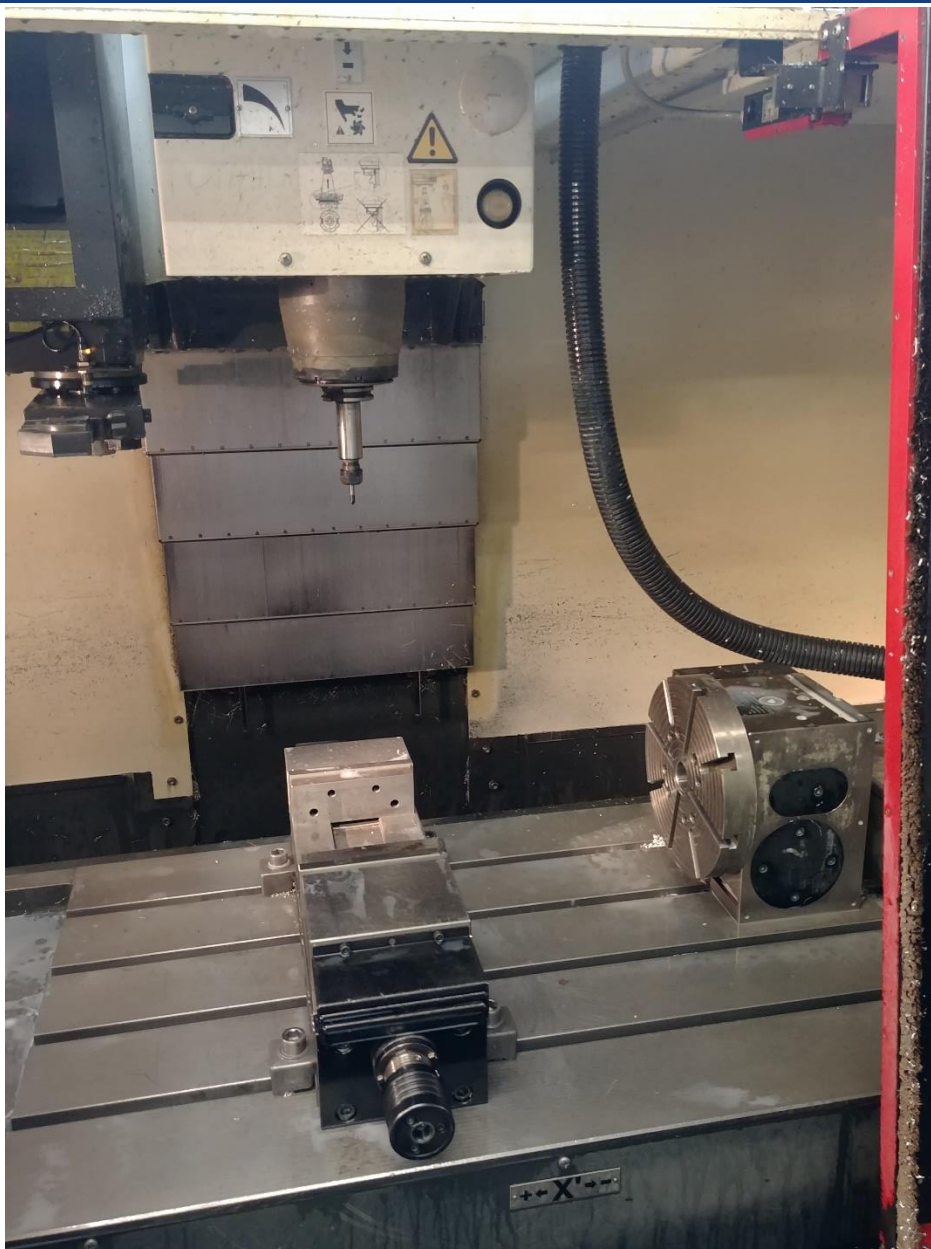
Při frézování šestihranu je výrobek upnut do univerzálního sklíčidla, které je připevněno na otočném stole (obr. 2.5). Čelisti sklíčidla jsou také upraveny na přesný průměr obrobku, aby nedošlo k jeho poškození.

2.3.1 Vertikální obráběcí centrum MAS MCV 750

Je to vertikální obráběcí centrum, které je vybaveno otočným stolem s řízenou 4.osou.



Obr. 2.4 Vertikální obráběcí centrum MAS MCV 750.



Obr. 2.5 Pracovní prostor obráběcího centra.

Tab. 2.3 Technické údaje stroje [4].

MAS MCV 750	
Počet řízených os	4
Maximální otáčky vřetene	12000 min ⁻¹
Maximální rozměr obrobku (vxšxd)	420x500x750
Pracovní posuv	1-40 000 mm/min
Velikost zásobníku	24
Výkon motoru vřetena	32/48 kW
Max. příkon stroje	32kVa
Hmotnost stroje	5250 kg

2.4 Výrobní postup

Tab. 2.4 Technologický postup výroby

Technologický postup		
		Materiál: AW EN 2030
Č. operace	Pracoviště	Popis práce
1.Řezat	Pásová pila	Řezat na délku 51
2.Soustružit-zprava	Talent 8/52	Zarovnat čelo
		Hrubovat Ø 37,6 v délce 38
		Hotově rádius R5
		Hotově Ø 37 v délce 37,5
		Hrubovat díru na Ø 26 v délce 20
		Vrtat Ø 22 v celé délce
		Hotově díru Ø 26,78 v délce 20
		Srazit hranu 0,5x45°
		Hotově vybrání Ø 33 v délce 1,9 s rádiusem R1
		Závit PG21
3.Soustružit-zleva	Talent 8/52	Zarovnat čelo
		Hrubovat Ø28,8 v délce 12,7
		Rádius R0,5
		Zarovnat čelo osazení
		Hotově Ø28,3 v délce 13
		Závit PG21
		Hotově díru Ø23,5 v délce 28
3.Frézovat	MCV 750	Šestihran 33
4.Odjehlit	Ruční pracoviště	Odhrotit a odjehlit

2.5 Zhodnocení stávajícího postupu

Současný postup výroby, pro který je nutné použití dvou strojů a nutnost obrobek celkem třikrát upnout je velice neefektivní a časově náročný, existují obráběcí centra, která by danou součást dokázala vyrobit celou na jedno upnutí a ve výrazně kratším čase.

Dále by se čas výroby zkrátil o čas potřebný pro transport součásti mezi jednotlivými pracovišti a čas potřebný pro přípravu vertikálního obráběcího centra.

Výrobní časy jsou uvedeny v 5. kapitole.

3 NÁVRH NOVÝCH POSTUPŮ VÝROBY

Vzhledem k požadavku zákazníka na co největší úsporu výrobního času bylo nutné upravit současný proces výroby nebo výrobu přesunout na stroj, který by dokázal součást kompletně obrobít. Tím by došlo k úspoře času potřebného pro přípravu a nastavení strojů z původního výrobního postupu a času potřebného na transport obrobků mezi jednotlivými pracovišti.

3.1 Úprava stávajícího postupu výroby

Jako první byla zvolena úprava současného postupu, ta spočívala ve využití podavače tyčí. Tímto krokem mělo dojít k úspoře času při řezání polotovaru na pásové pile. Nově by na pásové pile docházelo pouze k dělení materiálu na délku jednoho metru, které by se následně vkládaly do podavače tyčí.

Od tohoto návrhu se nakonec ustoupilo, protože k výrazné úspoře času nedošlo. Čas, který byl uspořen při řezání přibližně odpovídal času, o který se prodloužilo soustružení v důsledku použití podavače tyčí. Soustružení se prodloužilo v důsledku samotného podání, které trvalo přibližně 18 vteřin, vkládání tyčí do podavače, při němž musel být stroj uveden do klidu a následného upíchnutí. Následné operace probíhaly stejně jako u původního postupu výroby.

Při této úpravě nedošlo k úspoře výrobního času.

Po tomto pokusu bylo rozhodnuto o přesunu výroby na jiný stroj.

3.2 Volba jiného stroje

Ze strojového parku, kterým je firma vybavena byl vybrán stroj Doosan PUMA 2100SY. Tento stroj je schopen výrobek obrobít celý a není nutné ho přesouvat na další pracoviště. Stroj disponuje také podavačem tyčí CNC Technology SPACESAVER 2500 a lapačem hotových obrobků, tyto vlastnosti ovšem při návrhu nového výrobního postupu nebyly využity vzhledem k požadavku na co nejkratší výrobní čas. Při jejich použití by se výrobní čas jednoho kusu prodloužil o 18 sekund a hrozilo by poškození výrobku při použití lapače.

3.2.1 CNC soustruh Doosan PUMA 2100SY

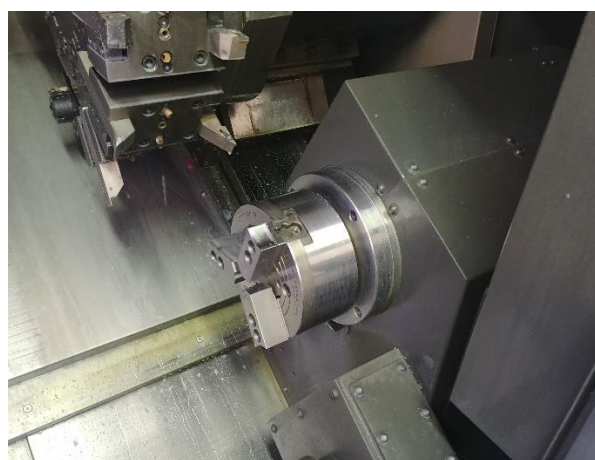
Jedná se o horizontální soustruh, který je vybaven šesti řízenými osami, proti vřetenem (osa B) a poháněnými nástroji, tudíž je schopen základního frézování. O řízení stroje se stará systém od firmy FANUC.



Obr. 3.1 Horizontální soustruh Doosan Puma 2100SY.

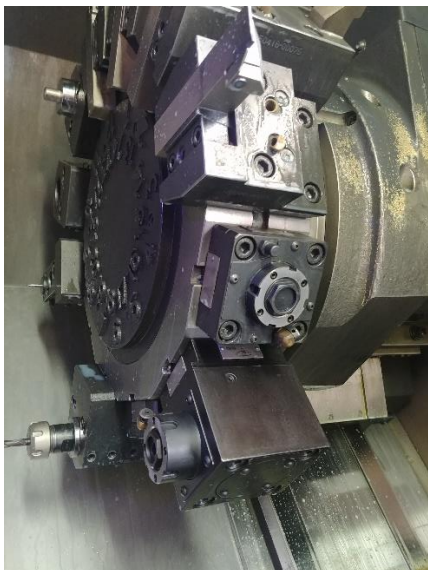


Obr. 3.2 Hlavní vřeteno soustruhu.



Obr. 3.3 Protivřeteno soustruhu.

Stopková fréza, která je použita pro frézování šestihranu se umísťuje pomocí kleštiny do speciálních poháněných držáku (obr. 3.5). Tento držák je poháněn pomocí elektromotoru, který je umístěn v nástrojové hlavě a stlačený vzduch uvádí do chodu unašeč.



Obr. 3.4 Automatická nástrojová hlava.



Obr. 3.5 Poháněný držák nástroje.

Tab. 3.1 Technické údaje stroje [4].

Doosan PUMA 2100SY	
Počet řízených os	6
Oběžný průměr nad ložem	780 mm
Maximální průměr soustružení	406 mm
Maximální délka soustružení	520 mm
Pojezd osy Y	± 52,5 mm
Hlavní vřeteno	
Průměr sklíčidla	210 mm
Maximální otáčky vřetena	5000 min ⁻¹
Výkon motoru	22 kW/30min
Protivřeteno (osa B)	
Průměr sklíčidla	175 mm
Maximální otáčky vřetena	6000 min ⁻¹
Výkon motoru	15 kW/30min
Automatická nástrojová hlava	
Počet nástrojů	12 (24)
Počet poháněných nástrojů	12
Maximální otáčky poháněných nástrojů	5000 min ⁻¹
Hmotnost stroje	5900 kg

3.3 Výrobní postup pro stroj PUMA 2100SY

Po přesunu výroby na stroj PUMA bylo nutné vytvořit nový výrobní postup součásti, který by splňoval požadavky zákazníka na co možná nejkratší výrobní čas. Byly vytvořeny dvě varianty výrobního postupu, z nichž byla vybrána pouze ta, která splňovala požadavky. Oba tyto postupy vycházejí z původního postupu. Po konzultaci s obsluhou stroje byly do těchto postupů začleněny úpravy, které zajišťovali především lepší odvod třísek, protože třísky, které byly špatně odváděny z místa obrábění a způsobovaly povrchové poškození již obrobených ploch.

3.3.1 První varianta postupu výroby součásti

Tato varianta počítala s finálním obrobením součásti, bez nutnosti využití jiného pracoviště. Polotovar ve formě tyčí by byl již od zákazníka připraven pouze na vložení do podavače tyčí, tím by se ušetřil čas potřebný na dělení vstupního polotovaru a následný transport mezi pracovišti. Postup byl navržen tak, že by byl využit podavač tyčí, do kterého by se pouze postupně doplňovaly připravené tyče. Následovalo by obrobení z jedné strany, poté upíchnutí se synchronním přehmatem a obrobení z druhé strany. Za použití vyhazovače, který je umístěn v proti vřetenu (obr. 3.3) by byl následně hotový obrobek vyhozen do lapače a následně dopraven do bedýnky, která je umístěna pod dveřmi.

Po provedení simulace, která byla provedena přímo na stroji v aplikaci EZ-Guide i, jedná se v podstatě o zjednodušený CAM software, ve kterém se mohou tvořit CNC programy přímo na daném stroji, ovšem vyšlo najevo, že tento postup by původní čas výroby příliš neušetřil. Protože podání trvalo příliš dlouho z důvodu nutnosti dvou podání během výroby jedné součásti a povytažení obrobku proti vřetenem po odepnutí v hlavním vřetenu, aby se upichovací nůž vešel mezi obě vřetena a nedošlo ke kolizi.

3.3.2 Druhá varianta postupu výroby součásti

Pro tuto variantu byla opět do postupu výroby zařazena pásová pila, na které se tyče nařezaly na jednotlivé polotovary, tudíž se upustilo od použití podavače tyčí.

Následně bylo provedeno obrobení součásti z obou stran.

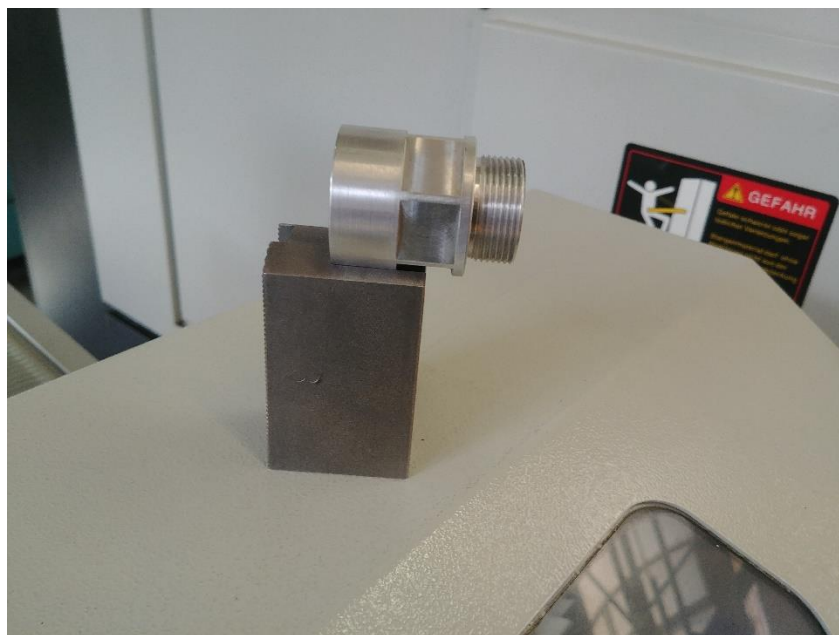
Dále se upustilo i od použití vyhazovače a lapače, protože během vyhození z vřetene docházelo k poškození obrobeného závitu.

Pro tento postup nebylo možné při obrábění první strany použít tvrdé čelisti z důvodu možné kolize poháněného držáku s čelistmi při frézování šestihranu. Použití delší frézy nebylo možné, protože by mohlo docházet k chvění frézy a tím k nesprávnému obrobení šestihranu. Proto se přistoupilo k úpravě měkkých čelistí na které byly přivařeny kostičky z měkké oceli, tyto kostičky bylo potřeba obrobit na průměr polotovaru.

Čelisti použité v proti vřetenu bylo nutné také obrobit na přesný průměr již obrobené poloviny součásti, aby nedošlo k poškození povrchu případně k deformaci tvaru vlivem tlaku sklíčidla.



Obr. 3.6 Upravené čelist hlavního vřetena.



Obr. 3.7 Čelist protivřetena s usazeným obrobkem.

3.4 Nový výrobní postup

Po zvolení vhodné varianty výrobního postupu byl vytvořen technologický postup výroby, který je uveden v tabulce 3.2.

Tab. 3.2 Nový technologický postup výroby.

Technologický postup		
		Materiál: AW EN 2030
Č. operace	Pracoviště	Popis práce
1.Řezat	Pásová pila	Řezat na délku 51
2.Soustružit	PUMA 2100SY	Zarovnat čelo
		Hrubovat Ø 37,6 v délce 38
		Vrtat Ø 22 v celé délce
		Hrubovat díru na Ø26 v délce 20
		Hotově čelo
		Hotově Ø 37 v délce 37,5 a rádius R5
		Šestihran 33
		Hotově díru Ø26,78 v délce 20
		Srazit hranu 0,5x45°
		Hotově vybrání Ø33 v délce 1,9 s rádiusem R1
		Závit PG21
		Synchroní převzetí
		Zarovnat čelo
		Hrubovat Ø28,8 v délce 12,7
		Rádius R0,5
		Zarovnat čelo osazení
		Hotově Ø28,3 v délce 13
		Závit PG21
		Hotově díru Ø23,5 v délce 28
3.Odjehlit	Ruční pracoviště	Odhrotit a odjehlit

4 VOLBA NÁSTROJŮ

Při volbě dodavatele nástrojů, které byly použity při výrobě, bylo nutné brát ohled na stávající vybavení stroje. Byly použity držáky, kterými byl stroj již vybaven a volil se pouze dodavatel spotřebního materiálu, v tomto případě se jednalo o výměnné břitové destičky a stopkovou frézu.

Při výběru se bral ohled na poměr cena/výkon daného výrobku.

4.1 Použité držáky VBD

Vzhledem k dlouhodobé spolupráci firmy s výrobcem nástrojů ISCAR je stroj vybaven držáky břitových destiček od tohoto výrobce.

- **Hrubování vnějších průměrů:**
ISCAR SCLCR 2525M-12
- **Dokončování vnějších průměrů:**
ISCAR SVJCR 2525M-16
- **Vnější závit:**
ISCAR SER 2525 M16
- **Hrubování a dokončení průchozího otvoru:**
ISCAR S16Q SCLCR-09
- **Vnitřní závit:**
ISCAR SIR 0010 K11
- **Vrtání průchozího otvoru:**
Plátkový vrták ISCAR DR220-066-25-07-3D-N

Z důvodu nedostatku prostoru byl pro hrubování a dokončování otvoru zvolen stejný držák i břitová destička, ovšem při dokončování byly upraveny řezné podmínky a byl zmenšen průřez třísky, který byl odebírán, tak aby se dosáhlo požadované kvality povrchu.

4.2 Použité výměnné břitové destičky

Při výběru dodavatele břitových destiček byly k dispozici destičky od firem ISCAR, WNT, Korloy.

Při výběru se bral ohled především na cenu destičky, její maximální dovolené řezné rychlosti a také jakou třísku při obrábění bude daná destička tvořit, aby nedocházelo k namotávání třísek na nástroje (obr. 4.2), které by následně mohly poškodit povrch obrobku nebo ucpat dopravník třísek a tím by došlo k navýšení doby výroby, což byl nežádoucí efekt vzhledem k požadavku zákazníka na co možná nejkratší čas výroby.

4.2.1 Parametry břitových destiček ISCAR

Hrubování vnějších průměrů

Tab. 4.1 Parametry břitové destičky.

CCGT 120408-AS-IC20	
Řezná rychlost v_c [m/min]	300-1000
Posuv f [mm/ot.]	0,1-0,3
Hloubka řezu a_p [mm]	1-3,5
Cena za kus [Kč]	221,76

Dokončování vnějších průměrů

Tab. 4.2 Parametry břitové destičky.

VCGT 160404-AS-IC20	
Řezná rychlost v_c [m/min]	300-1000
Posuv f [mm/ot.]	0,05-0,25
Hloubka řezu a_p [mm]	0,5-3
Cena za kus [Kč]	267,30

Hrubování a dokončování otvoru

Tab. 4.3 Parametry břitové destičky.

CCGT 09T304-AS-IC20	
Řezná rychlost v_c [m/min]	300-1000
Posuv f [mm/ot.]	0,1-0,25
Hloubka řezu a_p [mm]	0,5-2,5
Cena za kus [Kč]	190,74

Vrtání otvoru

Tab. 4.4 Parametry břitové destičky.

SOMX 070305-DT	
Řezná rychlost v_c [m/min]	150-300
Cena za kus [Kč]	246

4.2.2 Parametry břitových destiček WNT

Hrubování vnějších průměrů

Tab. 4.5 Parametry břitové destičky.

CCGT 120408FN-25P H210T	
Řezná rychlost v_c [m/min]	300-1000
Posuv f [mm/ot.]	0,05-0,6
Hloubka řezu a_p [mm]	1-4,5
Cena za kus [Kč]	340,59

Dokončování vnějších průměrů

Tab. 4.6 Parametry břitové destičky.

VCGT 160404FN-25P H210T	
Řezná rychlost v_c [m/min]	300-1000
Posuv f [mm/ot.]	0,05-0,6
Hloubka řezu a_p [mm]	0,5-4,5
Cena za kus [Kč]	427,87

Hrubování a dokončování otvoru

Tab. 4.7 Parametry břitové destičky.

CCGT 09T304FN-25P H210T	
Řezná rychlost v_c [m/min]	300-1000
Posuv f [mm/ot.]	0,05-0,6
Hloubka řezu a_p [mm]	0,5-4,5
Cena za kus [Kč]	292,67

Vnější závit

Tab. 4.8 Parametry břitové destičky.

16ER.16.PG CWK20	
Řezná rychlost v_c [m/min]	100-250
Cena za kus [Kč]	406,73

Vnitřní závit

Tab. 4.9 Parametry břitové destičky.

16IR.16.PG CWK20	
Řezná rychlost v_c [m/min]	100-250
Cena za kus [Kč]	406,73

4.3 Volba dodavatele břitových destiček

Volba vhodného dodavatele břitových destiček závisela na životnosti destičky, parametrech, kterých je schopna dosáhnout a na tvaru třísky, kterou destička utvářela, aby se předešlo tvorbě nevhodné třísky, při které by hrozilo poškození již obrobených ploch součásti a především samotného nástroje a držáku. Kdyby došlo k nahromadění třísky v prostoru obrábění nebo namotání na samotný nůž, hrozilo by riziko uvolnění součásti ze sklíčidla nebo zastavení stroje vlivem přetížení některé z os.

Možnosti dodavatelů byly firmy Iscar, WNT Tools a Korloy. Z tohoto výběru byl vyřazen výrobce Korloy vzhledem k nevyhovujícím maximálním hodnotám řezných rychlostí u těchto břitových destiček. K obrábění materiálu EN AW 2030 byly zapotřebí břitové destičky, které jsou schopné pracovat při řezných rychlostech přibližně 300 m/min, k této hodnotě se došlo po konzultaci s obsluhou stroje, která již měla zkušenosti s obráběním tohoto materiálu.

Tuto podmínku destičky od firmy Korloy, které byly nejlevnější nesplňovaly, jejich maximální řezné rychlosti se pohybovali okolo 200 m/min.

Další variantou byly destičky od firmy WNT Tools, tyto destičky byly nejdražší a současně měly nejvyšší hodnoty maximálních řezných rychlostí i hloubku řezu. Tyto destičky tedy splňovali všechny požadavky, které byly potřeba pro správné obrobení součásti.

Pro obrábění této součásti byly zvoleny destičky od firmy ISCAR. Tyto destičky se řadily svými parametry mezi destičky od firem Korloy a WNT Tools. Cena těchto destiček byla ovšem nižší než od firmy WNT. Jejich řezné rychlosti byly velice podobné, ve většině případu dokonce stejné jako u destiček WNT. Výrazněji se lišily pouze hloubky řezu, kdy větší maximální hloubkou řezu měly destičky WNT. To ovšem nemělo v rozhodování takový význam, protože se maximální hloubka řezu destiček nevyžívala. Zásadnější význam měla cena destiček, kdy se cena jednotlivých destiček lišila v řádu stokrát.

Dalším důvodem byl tvar třísky, které tyto destičky tvoří. U destiček od firmy ISCAR již měla obsluha zkušenost jak nastavit správně řezné podmínky, aby nedocházelo k tvorbě nevhodné třísky při obrábění a tím došlo k ušetření času, jenž by byl potřebný pro optimalizaci řezných podmínek pro destičky od firmy WNT.



Obr. 4.1 Třísky tvořené destičkami Iscar



Obr. 4.2 Třísky tvořené destičkami WNT

5 ZHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ VÝROBNÍCH POSTUPŮ

Zhodnocení starého a nového postupu se skládá ze zhodnocení úspory výrobního času, které bylo dosaženo přemístěním výroby ze dvou strojů pouze na jeden, který dokáže oba zastoupit. Do výrobního času budou zahrnuty časy z celého výrobního postupu, který zahrnuje dělení materiálu, soustružení, frézování, výměnu břitových destiček a také čas potřebný k transportu výrobků mezi jednotlivými stanovišti výroby.

Zhodnocení bude obsahovat i ekonomické zhodnocení jednotlivých výrobních postupů.

5.1 Určení času jednotlivých operací výroby

- **Dělení materiálu**

- Dělení materiálu v obou výrobních postupech probíhá na gravitační pásové pile Bomar Ergonomic 275.230 DG, čas řezu jednoho polotovaru pro soustružení byl měřen pomocí stopky a byl naměřen čas $t_{s1} = 45$ s.

5.1.1 Časy operací původního výrobního postupu

- **Soustružení na CNC soustruhu Hardinge Talent 8/32**

- Soustružení na tomto stroji probíhalo na dvě upnutí. Čas byl stanoven pomocí měřiče času, který je součástí řídicího systému Fanuc, kterým je stroj osazen. Měření času probíhá od spuštění CNC programu obsluhou, až po konec programu.
- Čas soustružení první strany výrobku byl $t_{s2} = 2$ min 52 s.
- Čas soustružení druhé strany výrobku byl $t_{s3} = 2$ min 2 s.

- **Frézování na vertikálním obráběcím centru MAS MCV 750**

- Čas potřebný k frézování výrobku byl taktéž určen pomocí zabudovaného měřiče času v řídicím systému stroje.
- Čas frézování šestihranu byl $t_{s4} = 1$ min 15 s.

5.1.2 Čas po změně výrobního postupu

- **Soustružení a frézování na CNC soustruhu Doosan Puma 2100SY**

- Strojní čas na tomto stroji byl opět určen pomocí zabudovaných stopky v řídicím systému.
- Po sloučení operací soustružení a frézování na jeden stroj, byl strojní čas $t_{s5} = 4$ min 53 s.

5.2 Určení přípravných časů

Přípravný čas spočívá v přípravě nástrojů a samotného stroje pro výrobu dané součásti.

- **Přípravný čas na stroji Hardinge Talent 8/32**
 - Přípravný čas pro obrábění první strany výrobku byl stanoven na 2 h.
 - Tento čas zahrnuje přípravu vhodných upínačů nástrojů, montáž samotných nástrojů, montáž univerzálního sklíčidla a montáž tvrdých čelistí do sklíčidla.
 - Přípravný čas pro obrábění druhé strany byl stanoven na 1,5 h.
 - Příprava na obrábění druhé strany výrobku spočívá v demontáži již nepotřebných nástrojů, které by mohli následně kolidovat s čelistmi. Dále dochází k výměně tvrdých čelistí za čelisti měkké, které mají osoustružený přesný průměr první strany výrobku, aby došlo k dokonalému sevření součásti a zároveň nedošlo k poškození povrchu výrobku.
- **Přípravný čas na vertikálním obráběcím centru MAS MCV 750**
 - Přípravný čas pro frézování byl 2 h.
 - Příprava na frézování spočívá v přípravě nástroje a upínače, které byly použity, montáži univerzálního sklíčidla na otočný stůl stroje a jeho seřízení.
- **Přípravný čas na soustruhu Doosan Puma 2100SY**
 - Přípravný čas na tomto stroji byl 3,5 h.
 - Příprava zahrnuje přípravu a montáž nástrojů a jejich upínačů, montáž univerzálních sklíčidel a vhodných čelistí do hlavního vřetena s proti vřetena a montáž poháněného držáku pro upnutí stopkové frézy.

5.3 Vyhodnocení změny výrobního postupu

Zhodnocení bylo provedeno s ohledem na úsporu strojního času, ke které došlo po změně výrobního postupu. Dále se vyhodnocuje úspora výrobních nákladů.

Zhodnocení se týká pouze operací soustružení a frézování, jelikož ostatní operace jsou u všech variant výroby, které byly navrženy stejné.

Celkový výrobní čas, který se porovnával se skládal ze soustružení, frézování, času, který byl potřebný pro opnutí a odepnutí obrobku, kontrolu rozměrů a času pro výměnu nástrojů po jejich opotřebení.

5.3.1 Celkový strojní čas různých variant výroby

Jako první byl stanoven celkový strojní čas na výrobu jednoho kusu součásti původním technologickým postupem, aby bylo možné porovnat úsporu času po změně technologického postupu.

Tab. 5.1 Původní technologický postup.

Původní technologický postup	
Soustružení první strany výrobku	2 min 52 s
Výměna obrobku	20 s
Soustružení druhé strany výrobku	2 min 2 s
Výměna obrobku	20 s
Frézování šestihranu	1 min 15 s
Výměna obrobku	30 s
Celkový výrobní čas jednoho kusu výrobku	7 min 27 s

Tab. 5.2 Nový technologický postup.

Nový technologický postup	
Soustružení a frézování	4 min 53 s
Výměna obrobku	15 s
Celkový výrobní čas jednoho kusu výrobku	5 min 6 s

5.3.2 Celkový přípravný čas různých variant výroby

Další krok byl určení časové úspory při přípravách strojů, ke které došlo po změně výrobních strojů.

Tab. 5.3 Původní technologický postup.

Původní technologický postup	
Příprava na soustružení první strany výrobku	2 hod
Příprava na soustružení druhé strany výrobku	1,5 hod
Příprava na frézování šestihranu	2 hod
Celkový čas přípravy	5,5 hod

Tab. 5.4 Nový technologický postup.

Nový technologický postup	
Celkový čas přípravy	3,5 hod

Po přesunu výroby na stroj Doosan Puma 2100SY došlo k výrazné časové úspoře při přípravě stroje, jelikož díky vybavení tohoto stroje dostatečným množstvím pozic na automatické nástrojové hlavě a dostatečné velikosti pracovního prostoru, díky malým rozměrům pracovního prostoru na původním stroji Hardinge Talent 8/32 hrozila kolize některých nástrojů se sklíčidlem. Proto nebylo potřeba mezi obráběním jednotlivých stran výrobku z nástrojové hlavy demontovat nástroje, které na obrábění druhé strany výrobku již nebyly využity.

5.3.3 Čas potřebný pro vedlejší práce

Při obrábění je nutno počítat i s časem, který tvoří vedlejší práce. Vedlejšími pracemi rozumíme výměnu opotřebovaných nástrojů a průběžnou kontrolu rozměrů hotových výrobků. Vzhledem k tomu, že původní a nový technologický postup se příliš neliší použitými nástroji, tak čas potřebný pro výměnu nástrojů a následovné seřízení stroje pomocí sondy trvá v obou případech přibližně stejnou dobu.

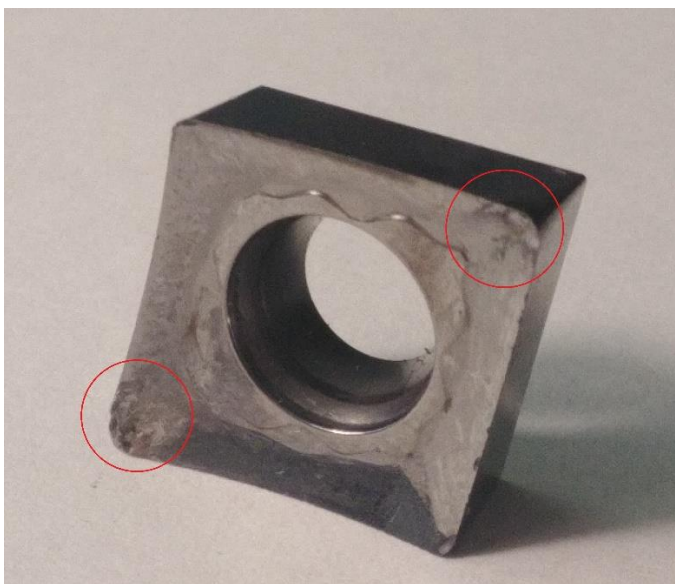
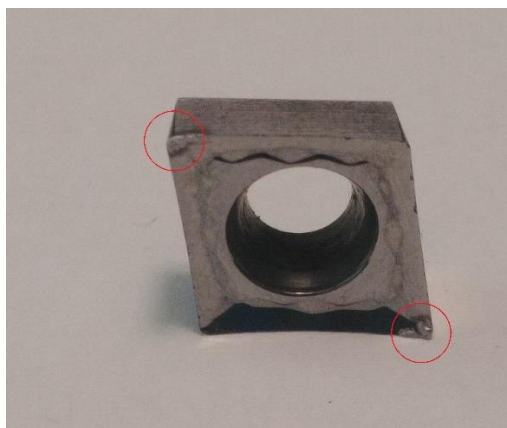
Výměnné břitové destičky začaly vykazovat známky opotřebení (obr. 5.1) po 500 obrobených kusech. Stopková fréza byla opotřebena po 1000 obrobených kusech.

Pro soustružení podle původního i nového technologického postupu byly práce spojené s výměnou nástrojů stanoveny na 1 hod. na 500 obrobených kusů.

Pro frézování byl stanoven čas na výměnu frézy na 5 min. po 1000 obrobených kusech.

Správnost obrobených rozměrů se neprováděla na každém kusu, ale na každém desátém kusu, důkladnější kontrola nebyla v tomto případě potřeba, protože na výrobku nebyly stanoveny žádné přesně tolerované rozměry.

Čas kontroly rozměrů byl stanoven na 3 min.



Obr. 5.1 Opotřebení VBD po 500 obrobených kusech

5.4 Zhodnocení úspory výrobních nákladů a časové úspory po změně technologického postupu

Po změně technologického postupu se očekávalo i snížení výrobních nákladů, ke kterému došlo vzhledem ke snížení časové náročnosti výroby.

Vyhodnocení bylo provedeno na sériích o velikosti 50, 100, 500, 1500, 2000 a 3000 ks.

5.4.1 Náklady na hodinu práce a přípravu stroje

Náklady na hodinu práce se skládají z přímých položek a nepřímých položek.

Do přímých položek jsou zahrnuty odpisy stroje, náklady na mzdu pracovníka a náklady na spotřebované energie.

Nepřímé položky jsou tvořeny náklady, které je nutné vynaložit na používané nástroje, měřidla, kalibraci měřidel atd.

Náklady na hodinu práce jednotlivých použitých strojů jsou uvedeny v tab. 5.1.

Tab. 5.5 Hodinové sazby.

	Hardinge Talent 8/32	MAS MCV 750	Doosan Puma 2100SY
Hodina práce	410 Kč/hod	720 Kč/hod	550 Kč/hod
Přípravné práce	210 Kč/hod	290 Kč/hod	240 Kč/hod

Tab. 5.6 Výrobní náklady původního postupu.

Náklady na soustružení při původním technologickém postupu						
Počet kusů série [ks]	50	100	500	1500	2000	3000
Strojní čas [min]	245	490	2450	7350	9800	14700
Výměna nástrojů [min]	0	0	70	210	280	420
Výměna obrobků [min]	33,3	66,7	333,3	1000	1333,3	2000
Výrobní čas [hod]	4,6	9,3	47,6	142,7	190,2	285,3
Příprava stroje [hod]	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Náklady na soustružení [Kč]	2636,9	4538,9	20232,8	59228,3	78726,1	117721,7
Náklady na frézování při původním technologickém postupu						
Strojní čas [min]	62,5	125	625	1875	2500	3750
Výměna nástrojů [min]	0	0	0	10	20	30
Výměna obrobků [min]	41,7	83,3	416,7	1250	1666,7	2500
Výrobní čas [hod]	1,7	3,5	17,4	52,3	69,8	104,7
Příprava stroje [hod]	2	2	2	2	2	2
Náklady na soustružení [Kč]	1250	2500	12500	37620	50240	75360
Celkové náklady na výrobu při původním technologickém postupu						
Celkové náklady [Kč]	3886,9	7038,9	32732,8	96848,3	128966,1	193081,7

Tab. 5.7 Výrobní náklady nového postupu.

Celkové náklady na výrobu při novém technologickém postupu						
Počet kusů série [ks]	50	100	500	1500	2000	3000
Strojní čas [min]	244,2	488,3	2441,7	7325	9766,7	14650
Výměna nástrojů [min]	0	0	60	185	250	375
Výměna obrobků [min]	12,5	25	125	375	500	750
Výrobní čas [hod]	4,3	8,6	43,8	131,4	178,8	266,4
Příprava stroje [hod]	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Celkové náklady [Kč]	3192,8	5545,6	24917,8	73119,3	97242,8	145444,2

Vzorový výpočet výrobních nákladů pro sérii o objemu 1500 ks.

Strojní čas:

$$t_s = \frac{t_{s5} \cdot n}{60} = \frac{293 \cdot 1500}{60} = 7325 \text{ [min]}$$

Výměna obrobku:

$$t_{vv} = \frac{t_{vo} \cdot n}{60} = \frac{15 \cdot 1500}{60} = 375 \text{ [min]}$$

Výměna nástrojů:

$$t_{vn} = 185 \text{ [min]}$$

Čas výroby:

$$t_{cv} = \frac{t_s + t_{vv} + t_{vn}}{60} = \frac{7325 + 375 + 185}{60} = 131,4 \text{ [hod]}$$

Celkový čas výroby a přípravy:

$$t_c = t_{cv} + t_p = 131,4 + 3,5 = 131,9 \text{ [hod]}$$

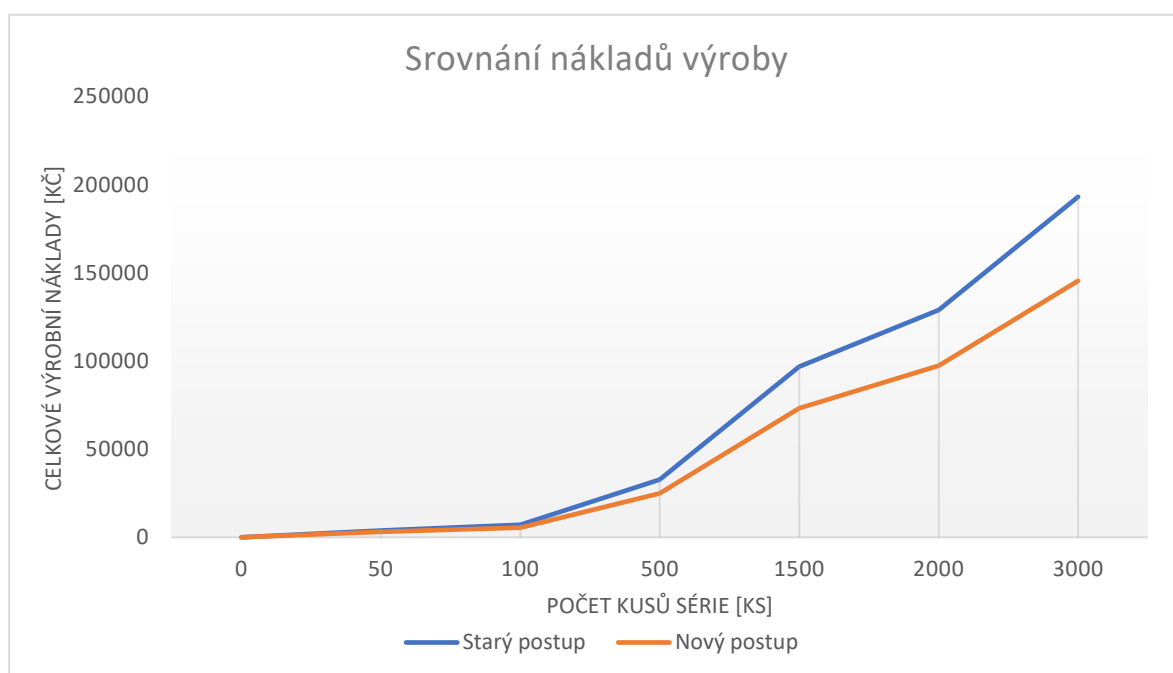
Celkové náklady:

$$n_{1500} = t_{cv} \cdot n_h + t_p \cdot n_p = 131,4 \cdot 550 + 3,5 \cdot 240 = 73119,3 \text{ [Kč]}$$

Tab. 5.8 Úspora výrobních nákladů po změně postupu

Úspora výrobních nákladů						
Počet kusů série [ks]	50	100	500	1500	2000	3000
Náklady původního postupu [Kč]	3886,9	7038,9	32732,8	96848,3	128966,1	193081,7
Náklady nového postupu [Kč]	3192,8	5545,6	24917,8	73119,3	97242,8	145444,1
Úspora [Kč]	694,2	1493,3	7815	23729,2	31723,3	47637,5

Po změně technologického postupu došlo k očekávané úspoře výrobních nákladů, s rostoucí velikostí vyráběné série dochází k výraznější úspoře financí (obr. 5.1).



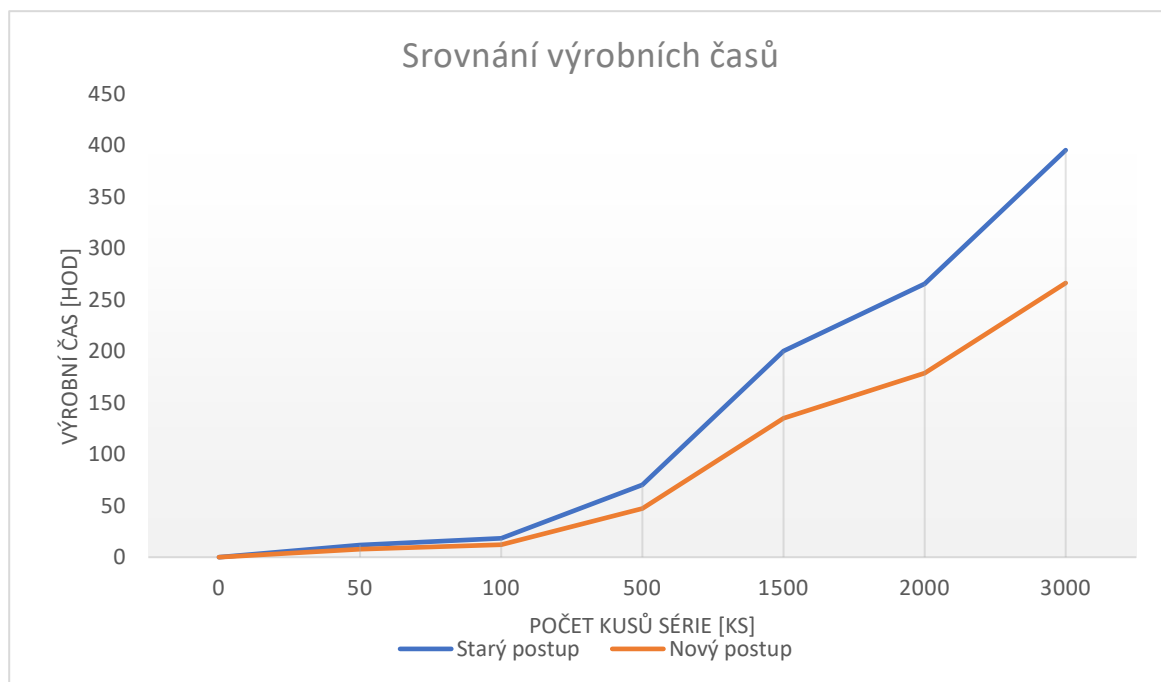
Obr. 5.1 Graf výrobních nákladů

5.4.2 Úspora výrobního času po změně technologického postupu

Nejdůležitější požadavek při optimalizaci výrobního procesu byl na snížení časové náročnosti výrobku dané součástí. Součástí výrobního času jsou strojní čas, čas na přípravu stroje, výměnu nástrojů a výměnu obrobků.

Tab. 5.9 Úspora času při výrobě

Úspora výrobních nákladů						
Počet kusů série [ks]	50	100	500	1500	2000	3000
Výrobní čas původního postupu [hod]	11,9	18,3	70,4	200,4	265,5	395,5
Výrobní čas nového postupu [hod]	7,8	12,1	47,3	134,9	178,8	266,4
Úspora [hod]	4,1	6,2	23,1	65,5	86,7	129,1



Obr. 5.2 Graf výrobních časů

ZÁVĚR

Předmětem této bakalářské práce bylo zhodnotit současný technologický postup výroby a navrhnout nový technologický postup dané součásti tak, aby došlo ke snížení výrobních nákladů a současně ke snížení výrobního času.

Hlavní změnou v technologii výroby, byla změna strojů, na kterých se součást vyráběla. Původně byla součást vyráběna na dvou pracovištích. Nově navržená varianta přesunula výrobu na jedno pracoviště, které bylo vybaveno strojem Doosan PUMA 2100SY, tento stroj byl díky tomu, že disponuje poháněnými nástroji, schopen nahradit soustružení, které probíhalo na CNC soustruhu Hardinge Talent 8/32 a následné frézování na vertikálním obráběcím centru MAS MCV 750.

Po zavedení této změny do výroby je zřejmé, že současně s objemem vyráběné série rostou jak finanční, tak časové úspory.

Díky této změně došlo k úspoře výrobních nákladů ve výši 47637,5 Kč při výrobní sérii 3000 kusů.

Hlavním požadavkem bylo snížení výrobního času, po zavedení nového postupu do výroby došlo k časové úspoře 129,1 hodiny, neboli 17,3 pracovních směn při délce pracovní směny 7,5 hodiny při sérii 3000 kusů a současně došlo k úspoře jednoho pracoviště potřebného pro výrobu součásti.

Všechny požadavky na snížení výrobních nákladu a tak výrobního času byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. HUMÁR, A. Technologie I - Technologie obrábění - 1. část. [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru.
3. ELUC. ELUC [online]. Copyright © 2000 [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1824>
4. MCV 750 | KOVOSVIT MAS. Obráběcí stroje, CNC stroje, CNC soustruhy | KOVOSVIT MAS [online]. Copyright © KOVOSVIT MAS 2016 [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-750-p7.html>
5. DOOSAN PUMA 2100 | TECNOTRADE obráběcí stroje s.r.o.. Tecnotrade obráběcí stroje s.r.o. [online]. Copyright © 2014 Tecnotrade obráběcí stroje s.r.o. [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <http://www.tecnotrade.cz/obrabeci-stroje/horizontalni-soustruhy/doosan-puma-2100/>
6. ALFUN - hliník. ALFUN - Home [online]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/hlinik>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Jednotky	Význam
t_{s1}	[sek]	strojný čas dělení materiálu
t_{s2}	[min]	strojný čas soustružení 1. strany
t_{s3}	[min]	strojný čas soustružení 2. strany
t_{s4}	[min]	strojný čas frézování
t_{s5}	[min]	strojný čas na stroji DOOSAN PUMA
t_s	[min]	strojný čas
t_{vv}	[min]	celkový čas výměny obrobku
t_{vn}	[min]	celkový čas výměny nástrojů
t_{cv}	[hod]	čas výroby
t_c	[hod]	celkový čas výroby a přípravy
n_{1500}	[Kč]	celkové náklady na výrobu 1500 ks

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres vyráběné součásti - Pouzdro

Příloha 2 NC program nového výrobního postupu